Trošenje reznih ploča za beton

Piha, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:165273

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-19**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Karlo Piha

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Student:

Doc.dr.sc. Suzana Jakovljević **Karlo Piha**

Zagreb, 2015.

Izjava

Izjavljujem da sam završni rad na temu „Trošenje reznih ploča za beton“ izradio samostalno uz potrebne konzultacije, savjete, stečena znanja tijekom studija i uporabu navedene literature.

Karlo Piha

Zahvala

Zahvaljujem se mentorici doc.dr.sc. Suzani Jakovljević, na pristupačnosti i strpljenju, zalaganju, savjetima i pomoći u izradi ovoga završnog rada.

Posebno se zahvaljujem mojoj djevojci, braći, roditeljima i baki na neizmjernoj podršci, trudu i razumijevanju tijekom studiranja.

Zahvaljujem se i firmi „DIJAMANT-REZ d.o.o.“ na donaciji reznih ploča za beton.

Rad posvećujem mome djedu Antunu koji mi neizmjerno nedostaje.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Karlo Piha** Mat. br.: 0035186372

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Trošenje reznih ploča za beton**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Wear of cutting wheels for concrete**

Opis zadatka:

Rezanje betona dijamantnim alatima svoju primjenu nalazi pri rekonstrukciji, adaptaciji, nadogradnji, prenamjeni građevinskih objekata ili novogradnji.

Prilikom rezanja betona dolazi do trošenja površine rezne ploče na mjestu dodira ploče i betona.

U radu je potrebno:

1) definirati materijale od kojih se izrađuju rezne ploče,
2) analizirati i opisati mehanizme trošenja koji se javljaju u kontaktu površine rezne ploče i betona,
3) na izabranom primjeru karakterizirati mikrostrukturu materijala izabrane rezne ploče,
4) analizirati rezultate i dati zaključak.

Zadatak zadan:
25. studenog 2014.

Rok predaje rada:
1. rok: 26. veljače 2015.
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 2., 3., i 4 . ožujka 2015.
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Zadatak zadao:
Doc.dr.sc. Suzana Jakovljević

Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

POPIS SLIKA I
POPIS TABLICA III
SAŽETAK IV
1 **UVOD** 5
2 **REZNA PLOČA** 6
2.1 Karakteristike rezne ploče 7
2.2 Radni vijek rezne ploče 8
2.3 Materijal koji se reže 10
2.4 Strojevi za rezanje betona 11
2.5 Problemi koji nastaju tijekom rezanja 13
2.6 Pakiranje rezne ploče 15
3 **TROŠENJE REZNE PLOČE** 16
3.1 Mehanizmi trošenja rezne ploče 17
3.2 Materijali za rezne ploče 18
3.3 Reparacija rezne ploče 19
4 **EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE** 20
4.1 **Skenirajući elektronski mikroskop, SEM** 20
4.1.1 Rezultati SEM-a 21
4.2 **KEMIJSKA ANALIZA UZORKA** 23
4.2.1 Rezultati kemijske analize uzoraka 24
4.3 **METALOGRAFSKA ANALIZA** 24
4.3.1 Analiza mikrostrukture 24
Priprema uzorka 24
Izrezivanje uzorka 24
4.3.2 Prikaz mikrostrukture 25
4.4 **EDS** 33
4.5 **MJERENJE TVRDOĆE VICKERSOVOM METODOM (HV)** 37
4.5.1 Rezultati mjerenja tvrdoće 38
5 **ZAKLJUČAK** 40
6 **LITERATURA** 41

POPIS SLIKA

Slika 1. Rezna ploča [3] 6
Slika 2. Brzo rezanje kroz kvalitetu industrijskog dijamanta i izoštrene segmente. [5] 7
Slika 3. Dugi vijek trajanja zbog 9-15 mm visokog segmenta. [5] 7
Slika 4. Preciznom rezanju doprinosi list koji je od kaljenog čelika koji se ne 7
Slika 5. Zaštita od gubitka segmenata, sigurnost kroz lasersko zavarivanje segmenata. [5] 8
Slika 6. Rad uz minimalnu buku i vibraciju [5] 8
Slika 7. Velika opterećenja su moguća jer utori apsorbiraju nastala napinjanja [5] 8
Slika 8. Ručna rezačica [2] 11
Slika 9. Podna rezačica [2] 11
Slika 10. Stolna rezačica [2] 12
Slika 11. Zidna rezačica [2] 12
Slika 12. Problem podrezivanja rezne ploče [6] 13
Slika 13. Problem zastakljenog dijamantnog segmenta rezne ploče [6] 13
Slika 14. Problem pretjeranog trošenja segmenta rezne ploče [6] 14
Slika 15. Problem pretjeranog bočnog trošenja segmenta rezne ploče [6] 14
Slika 16. Problem promijene boje rezne segmenta rezne ploče [6] 15
Slika 17. Pakiranje rezne ploče [7] 15
Slika 18. Shematska predodžba mikrorezanja [12] 17
Slika 19. Prikaz cijele rezne ploče promjera 35 cm za beton i armirani beton 20
Slika 20. Prikaz bočne površine rezne ploče 21
Slika 21. Prikaz dijamanta i mjesta na kojem je bio dijamant 22
Slika 22. Rezna površina rezne pločice od 2 mm izmjereno na SEM-u 23
Slika 23. Prikazuje izrezan komad rezne ploče, pomoću kružne pile za željezo 25
Slika 24. Uzorak spreman za metalografsku analizu 25
Slika 25. Prikaz presjeka metalografskog uzorka u cjelini sa povećanjem 50x 26
Slika 26. Prikaz zavara između osnovnog materijala i materijala ispod rezne pločice 27
Slika 27. Prikaz rezne pločice povećanja 500x 28
Slika 28. Rezna pločica i materijal ispod rezne pločice 500x 28
Slika 29. Materijal ispod rezne pločice 1000x 29
Slika 30. Materijal ispod pločice i gornji ZUT povećanja 500x 30
Slika 31. Gornji ZUT i zavar 500x 30
Slika 32. Prikaz zavara između osnovnog materijala i materijala ispod rezne pločice 1000x 31
Slika 33. Prikazuje područje zavara i donjeg ZUT-a 500x 31
Slika 34. Prikaz gornjeg ZUT-a i osnovnog materijala 1000x 32
Slika 35. Prikaz osnovnog materijala povećanja 1000x 32
Slika 36. EDS analiza rezne pločice (reznog segmenta) 33
Slika 37. EDS analiza najzastupljenijeg elementa matrice, rezne pločice 34
Slika 38. EDS analiza 35
Slika 39. EDS analiza 36
Slika 40. Prikaz mjesta ispitivanja tvrdoće po presjeku rezne ploče 38

POPIS TABLICA

Tablica 1. Svojstva betona u usporedbi sa drugim materijalima 10
Tablica 2. Rezultati kemijske analize osnovnog dijela rezne ploče 24
Tablica 3. Atomski i maseni udio elemenata uzorka 34
Tablica 4. Atomski i maseni udio elemenata uzorka 34
Tablica 5. Atomski i maseni udio elemenata uzorka 35
Tablica 6. Atomski i maseni udio elemenata uzorka 36
Tablica 7. Rezultati mjerenja tvrdoće osnovnog materijala uzorka 38
Tablica 8. Rezultati mjerenja tvrdoće materijala zavara između rezne pločice i osnovnog materijala 39
Tablica 9. Rezultati mjerenja tvrdoće rezne pločice 39
Tablica 10. Rezultati mjerenja tvrdoće materijala ispod rezne pločice 39

SAŽETAK

U ovom radu analizirano je trošenje kružne pile za beton tj. njezinih reznih pločica. Eksperimentalni dio se sastoji od opisa predobrade uzorka, ispitivanja tragova trošenja na zubima, kemijske analize osnovnog materijala, mjerenje tvrdoće te metalografske analize u svrhu određivanja mikrostrukture. U zaključku je predložen način poboljšavanja otpornosti rezne pile na odlomljavanje rezne oštrice od osnovnog komada i to toplinskom obradom popuštanja područja zavara.

1 UVOD

Rezanje betona primjenjuje se pri rekonstrukciji, adaptaciji, nadogradnji, prenamjeni građevinskih objekata ili novogradnji. Beton je najviše korišten materijal na svijetu (10-12 milijardi tona godišnje) [1] što ukazuje na značaj ovog procesa obrade betona. Beton se može rezati na razne načine, bilo svrdlima za beton, dijamantnim žicama ili reznim pločama. Rezne ploče su vrlo bitan element u rezanju. Pravilan odabir rezne ploče je nužan. Na tržištu se nude univerzalne rezne ploče. One režu sve materijale od asfalta, betona, mramora, granita i cigala, ali se i najbrže troše. Svaki ozbiljniji proizvođač nudi u svojoj paleti rezne ploče specijalno izrađene za svaki materijal koji se reže. Također, nude se i ploče koje imaju određenu razinu kvalitete pa razlikujemo manju, srednju i visoku kvalitetu rezne ploče. Ona je uvjetovana kvalitetom i količinom dijamanta u samom segmentu rezne ploče. Naravno, veća kvaliteta znači i veću cijenu, ali i veći radni vijek ploče. Kako se da naslutiti, ključan je taj "segment" na reznoj ploči. Segmenti su poseban dio ploče koji se laserski zavaruje na tijelo rezne ploče. Kao što je poznato, princip rezanja počiva na principu skidanja materijala dijamantskim zrnima koji su povezani vezivnom masom. Masa služi da drži zrno dijamanta točno toliko da on ispuni svrhu rezanja i potroši se do maksimum 20-30% svoje prvobitne veličine. Zrno dijamanta vrši funkciju rezanja i dobar alat mora iskoristiti svako svoje zrno koliko je to moguće, a da ne ispadnu prije vremena i da točno ispadne kada izgubi funkciju rezanja. Da bi se zrno u dovoljnoj mjeri iskoristilo, veoma je bitno da u zoni rezanja se nađe u svakom trenutku isti broj zrna, na približno istim rastojanjima (da bi se sila rezanja pravilno rasporedila po zrnima) i da se pravilno izbacuje otpadni materijal zajedno sa potrošenim zrnima iz zone rezanja. [2] Rezanje se izvodi bez vibracija, odnosno nema opasnosti da će se pojaviti pore i pucanje materijala koje se pojavljuje kod štemanja. Rezanje se najčešće izvodi precizno u milimetar. Nema popratnog popravljanja, zaglađivanja.

2 REZNA PLOČA

Kako bi udovoljili svim varijantama i tipovima poslova proizvođači dijamantnih reznih alata nude široku paletu dijamantnih alata namijenjenih da savršeno i u potpunosti obave svaki od postavljenih zadataka. Ne samo rezanja svih vrsta materijala od najtvrđeg granita do betona i asfalta, nego i specijalno prilagođenih dijamantnih kruna za bušenje, te brusnih alata za brušenje i poliranje površina.

Slika 1. Rezna ploča [3]

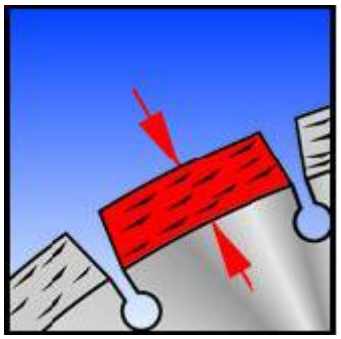
Visokokvalitetne rezne ploče izrađene su od visokokvalitetno tehnološki obrađenog pojačanog čelika. Prorezi između segmenata omogućuju odlično hlađenje prolaskom vode između segmenata (tijekom mokrog rezanja) ili prolaskom zraka (tijekom suhog rezanja). Tijekom rada sa reznim pločama dozvoljeno je i određeno zakrivljavanje rezne ploče u materijalu bez posljedica trošenja tijela rezne ploče u materijalu. Segmenti su napravljeni od mješavine dijamantnih kristala i metalnog praška. Tijekom procesa proizvodnje segmenata mješavina metalnog prašaka i dijamantnih kristala preša se pod visokom temperaturom da bi se dobila kompaktna metalna pločica (segment) koja sadržava dijamante. Segment je uobičajeno malo širi od metalnog tijela rezne ploče, jer time otklanja mogućnost potrošnje tijela rezne ploče tijekom prodiranja segmenata u materijal. [4]

Dijamantne rezne ploče čine važan segment u građevinarstvu, cestogradnji, industriji kamena itd. Dokazano je da jedan stroj za rezanje u svom životnom vijeku potroši reznog alata u vrijednosti deset puta više od svoje nabavne cijene. Stoga, vrlo je važno koristit ispravno odabranu reznu ploču koja će što boje zadovoljiti uloženo sa dobivenim. [4]

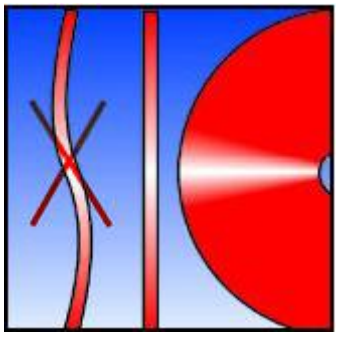
2.1 Karakteristike rezne ploče:

Karakteristike reznog alata određuje materijal koji se reže. U slučaju rezanja betona, rezna ploča mora moći odgovoriti na zahtjeve rezanja i kamena u cementnoj matrici i u slučaju armiranog betona, čeličnim šipkama ponekad promjera i do 12 mm. Rezna ploča je kompleksan alat, karakteristika prikazanih na niže navedenim slikama.

Slika 2. Brzo rezanje kroz kvalitetu industrijskog dijamanta i izoštrene segmente. [5]



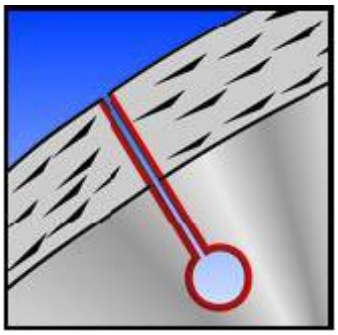
Slika 3. Dugi vijek trajanja zbog 9-15 mm visokog segmenta. [5]



Slika 4. Preciznom rezanju doprinosi list koji je od kaljenog čelika koji se ne izobličuje. [5]

Slika 5. Zaštita od gubitka segmenata, sigurnost kroz lasersko zavarivanje segmenata. [5]

Slika 6. Rad uz minimalnu buku i vibraciju [5]



Slika 7. Velika opterećenja su moguća jer utori apsorbiraju nastala napinjanja [5]

2.2 Radni vijek rezne ploče:

Četiri ključna činitelja utječu na radni vijek rezne ploče:

1. **Vrsta stroja**

– Stolna, podna, ručna ili zidna rezačica, tj. pravilan odabir stroja. Jer svaka je rezna ploča upravo namijenjena za jedan od navedenih strojeva. To je usko povezano s brzinom okretaja osovine stroja, tj. rezne ploče. Rezne ploče su pravljene za optimalan rad na točno određenom

broju okretaja stroja (obodna brzina segmenta, vrha rezne ploče). Svako odstupanje iznad ili ispod optimalne obodne brzine trošit će reznu ploču više od normalnog. [2]

2. **Hlađenje**

– Rezne ploče se dijele na one kojima je potrebno hlađenje vodom i one kojima nije. Bez obzira na to je li ploča namijenjena za suho rezanje, ako je budete hladili vodom, ona će imati dulji radni vijek. Znači, što je bolje hlađenje i radni vijek ploče je dulji. [2]

3. **Odabir rezne ploče za odgovarajući tip materijala koji se reže**

– Rezanje krivog materijala može potrošiti segmente u nevjerojatno kratkom roku. Teško je točno znati koji materijal režete, ali je to bitna stvar. Čest slučaj je da cestari, misleći da režu asfalt, zahvate betonsku podlogu (ne znajući na kojoj je dubini) i na njoj u kratkom roku potroše reznu ploču jer ustvari režu beton s pločom za asfalt. [2]

4. **Dubina rezanja**

– Svaka rezačica ima svoju maksimalnu dubinu rezanja koju mi redovito zlouporabimo. U pravilu, trebalo bi dubinu od npr. 200 mm rezati u otprilike 4 prolaza. Znači, svaki prolaz je na dubini od oko 50 mm (maksimalno). [2]

Izbor rezne ploče određuju sljedeće činjenice:

1. Materijal koji se reže (beton, armirani beton, kamen, granit, cigla)
2. Stroj sa kojim ćemo izvršiti rezanje

2.3 Materijal koji se reže

BETON je heterogeni kompozitni materijal. Prostim okom vide se u presjeku betona zrna agregata u matrici cementnog kamena. U cementnom kamenu i oko zrna agregata mogu se prostim okom vidjeti pore veličine i do nekoliko mm i pukotine od nekoliko desetinki mm. [1]

VRSTE BETONA

Prema gustoći beton se dijeli na:

- običnu beton (gustoća između 2000 i 2600 kg/m^3),
- lagani beton (gustoća ispod između 800 i 2000 kg/m^3),
- teški beton (gustoće veće od 2600 kg/m^3).

Gotovo sva fizikalna i mehanička svojstva betona (čvrstoća, ispunjenost, vodljivost topline, vodljivost zvuka, otpornost na temperaturu, otpornost na mraz, otpornost na koroziju i sl.) ovise o strukturi, a osobito o gustoći - količini mase (tvari) po jedinici volumena. [1]

Čvrstoća betona se povećava:

- ojačanjem čeličnom "armaturom" – žicama (D < 12 mm), šipkama (D > 12 mm), mrežama i profilima. Armature se postavljaju u beton prije njegovog skrućivanja.
- uvođenjem prednaprezanja – postavljena se čelična armatura prije skrućivanja optereti na vlak (ispod granice elastičnosti čelika). Nakon skrućivanja betona armatura se rastereti i ona pri svom skupljanju povlači za sobom skrućeni beton uspostavljajući u njemu trajnu tlačnu napetost. [1]

Tablica 1. Svojstva betona u usporedbi sa drugim materijalima.[1]

Materijal	Gustoća (kg/m^3)	Čvrstoća (N/mm^2)		Modul elastičnosti (N/mm^2)
		Tlačna	Vlačna	
Čelik	7860	> 300		210000
Aluminij	2710		> 60	70000
Staklo	2500	700-800	30-90	73000
Beton	**2320**	**10-60**	**1/10 tl. č.**	**30000**
Drvo	500	Savojna čvrstoća		12700 800
		80	2,2	
Polimeri	900-2200		40	1000

Iza tablice se može vidjeti da beton kao materijal nema neke velike vrijednosti navedenih svojstava u usporedbi sa čelikom, ali za ono što je namijenjen je odličan materijal.

2.4 Strojevi za rezanje betona: [2]

Uza sve alate i strojeve za razbijanje, nabijanje i vibriranje, u građevinarstvu se koriste i strojevi za rezanje. Koriste ih gotovo svi: cestari, građevinci, krovopokrivači, klesari, keramičari. Stroj za rezanje betona naziva se rezačica. Za pravilan odabir mora se znati za koju namjenu će se koristiti rezači stroj.

Rezačice se mogu podijeliti prema namjeni na četiri osnovna tipa:

1. **Ručne rezačice** za najraznovrsnije poslove i namjene. Mogu se koristiti i za rezanje zidova, pločnjaka, montirane na pomoćna kolica za podna rezanja, općenito za sva manja ili interventna rezanja i rezanja svih materijala. U pravilu primaju rezne ploče promjera ø350 do ø400 što ograničava dubinu rezanja do maksimalnih 150 mm. S obzirom da su ovo rezačice kojima se radi direktno iz ruku, potreban je znatan oprez radnika kako ne bi došlo do neželjenih ozljeđivanja pa se preporučuju hidraulične rezačice.

Slika 8. Ručna rezačica [2]

2. **Podne rezačice** namijenjene su za rezanje isključivo podnih ploha: asfalta na cestama, betona i drugih podloga. Dolaze u raznim veličinama – od najmanjih, time i najjednostavnijih, do onih velikih, namijenjenih kilometarskim rezanjima i s nizom dodataka kao što su kontrola dubine rezanja (čak do 1000 mm), brzine rezanja, samohodnost, te sa sjedećim mjestima za radnika koji upravlja itd.

Slika 9. Podna rezačica [2]

3. **Stolne rezačice** namijenjene su za rezanje keramike, crijepa, cigle, kamena, rubnjaka, blokova i gotovo svih materijala. Stolne rezačice su također širokog asortimana. Prvo,

s obzirom na veličinu, tj. dubinu rezanja jer jedno uvjetuje drugo. Tu su zatim i razne izvedbe s pomičnom reznom glavom ili pomičnim stolom.

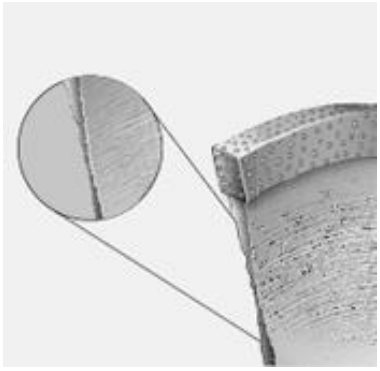
Slika 10. Stolna rezačica [2]

4. **Zidne rezačice** specijalizirani rezni alati za rezanje otvora (vrata, prozora, prolaza itd.), u zidovima, podovima, stropovima ili drugim plohama. Najčešće se radi o rezanju u debelim betonskim armiranim temeljnim zidovima. U pravilu rade s reznim pločama velikih promjera, čak do 1500 mm. Za pogon tako velikih ploča potreban je jak pogon i on je u pravilu hidraulični ili električni. Princip je taj da se na plohu na kojoj se reže montira jedna "zupčasta letva" ili "šina" po kojoj se kreće cijela rezna glava dok se pogonski izvor nalazi sa strane.

Slika 11. Zidna rezačica [2]

2.5 Problemi koji nastaju tijekom rezanja: [6]:

1. **Podrezivanje -** prebrzo se istroši temeljni list ispod segmenta. To može prouzrokovati gubitak segmenta.

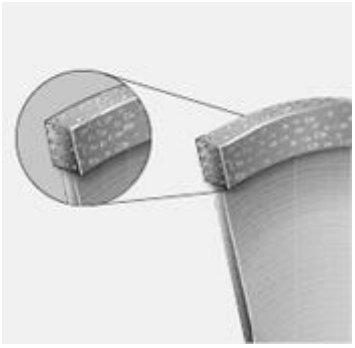


Slika 12. Problem podrezivanja rezne ploče [6]

Mogući uzrok: sloj ispod obrađenog materijala je jako abrazivan, rezna ploča je korištena za rezanje pre abrazivnog materijala.

Preventivne mjere: stupnjevito rezanje, obrada gornjeg sloja pločom za beton, a donjeg materijala dijamantnom reznom pločom ili koristiti ploču koja je prikladna za materijal koji se obrađuje.

2. **Zastakljeni dijamantni segmenti -** vezivo dijamanata je prečvrsto i ne troši se dovoljno brzo kako bi oslobodio nove, oštre dijamante. Dijamantna rezna ploča postaje tupa.

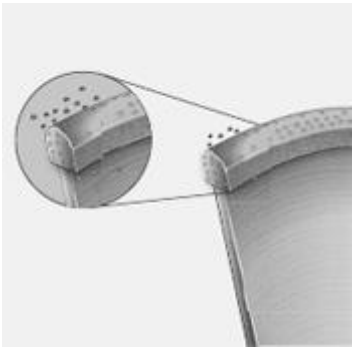


Slika 13. Problem zastakljenog dijamantnog segmenta rezne ploče [6]

Mogući uzrok: odabrana dijamantna rezna ploča možda nije prikladna za obrađeni materijal, materijal je pretvrd.

Preventivne mjere: odabir ploče koja je prikladna za materijal koji se obrađuje. Za tvrde ili vrlo tvrde materijale koristiti dijamantne rezne ploče s mekanim vezivom. Za kratki rok može pomoći oštrenje (kratko rezanje u vrlo abrazivni materijali).

3. **Općenito pretjerano trošenje segmenata -** vezivo dijamanata je premekan i prebrzo se troši. Time se prerano oslobađaju dijamanti koji bi inače još rezali.

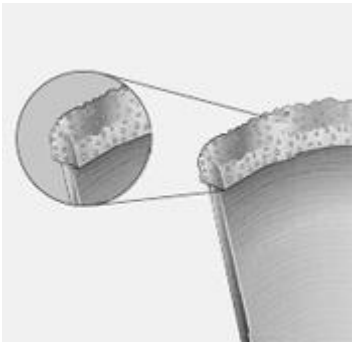


Slika 14. Problem pretjeranog trošenja segmenta rezne ploče [6]

Mogući uzrok: odabrana dijamantna rezna ploča nije prikladna za obrađeni materijal, materijal je pre abrazivan.

Preventivne mjere: koristiti reznu ploču koja je prikladna za materijal koji se obrađuje. Za abrazivne materijale koristiti rezne ploče s tvrdim vezivom.

4. **Pretjerano trošenje segmenata bočno** - previše nakošena dijamantna rezna ploča u reznom procjepu.

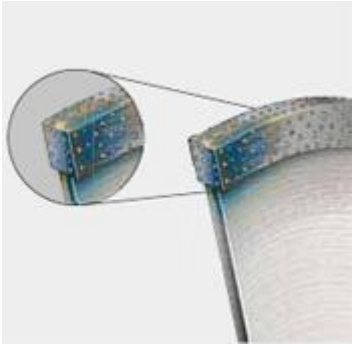


Slika 15. Problem pretjeranog bočnog trošenja segmenta rezne ploče [6]

Mogući uzrok: pokušaj rezanja zavoja ili je ploča korištena za brušenje, smije se međutim koristiti samo za rezanje.

Preventivne mjere: ploču koristiti samo za rezanje i provjeriti prihvat ploče na stroj za rezanje.

5. **Promjena boje na segmentima i temeljnom listu -** dijamantna rezna ploča se pregrijala, a time se smanjuje životni vijek.



Slika 16. Problem promijene boje rezne segmenta rezne ploče [6]

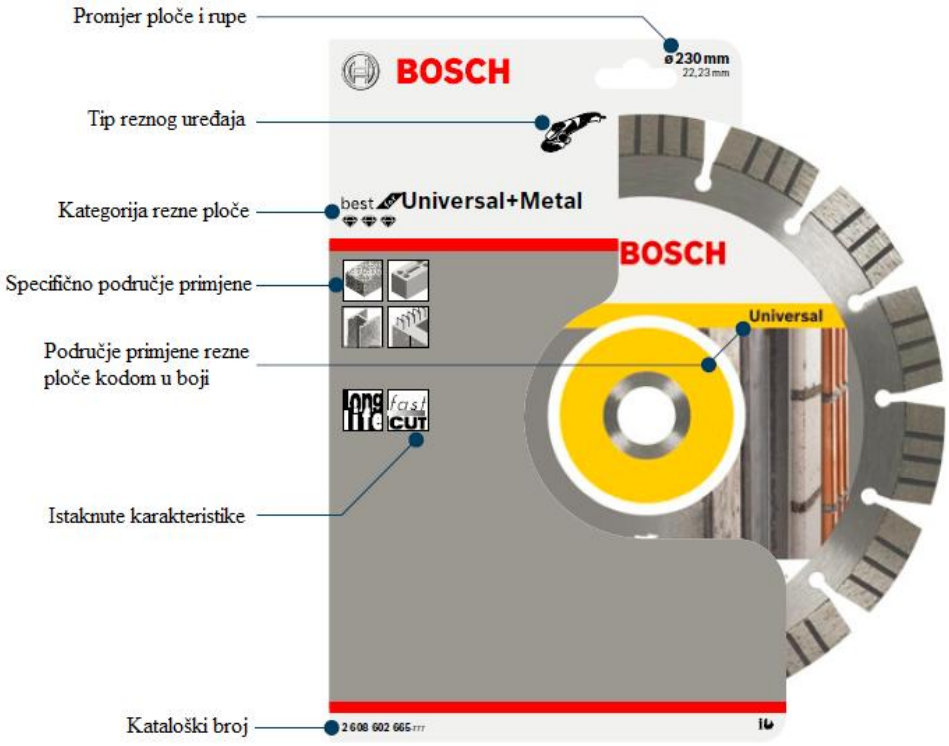
Prvi mogući uzrok: ispuštena je potrebna stanka za rashlađivanje ili je preveliko opterećenje dijamantne rezne ploče.

Preventivne mjere: Smanjiti silu pritiskanja na obrađivani materijal i po osjećaju dozirati silu rezanja. Dovoljna je težina stroja za silu pritiskanja.

Drugi mogući uzrok: kod radova pri kojima se preporučuje mokra primjena nije korištena voda za rashlađivanje ili je korišteno premalo vode.

2.6 Pakiranje rezne ploče

Sve važne informacije za korisnika prikazane su na pregledan način na pakiranju rezne ploče. Pravilan odabir rezne ploče je nužan kako bi se što bolje iskoristile njezine karakteristike. Na slici su prikazane sve informacije potrebne korisniku koje se mogu pronaći na pakiranju. [7]



Slika 17. Pakiranje rezne ploče [7]

3 TROŠENJE REZNE PLOČE

Za određivanje načina na koji se pila troši potrebno je poznavati vrste mehanizma trošenja.

Tribologija

Tribologija je znanost o trenju, trošenju i podmazivanju dvaju površina u dodiru. Glavna područja primjene tribologije su:

- Mehaničke konstrukcije
- Materijali
- Obrada materijala
- Podmazivanja

Tribološke mjere, tj. postupci i metode koje imaju za cilj postizanje prihvatljivih vrijednosti trenja i trošenja u realnim tribološkim sustavima, mogu se podijeliti na:

- izbor materijala triboloških elemenata
- zaštita površina od trošenja
- uhodavanje
- podmazivanje. [8]

Trošenje

Trošenje je postupni gubitak materijala s površine krutog tijela uslijed dinamičkog dodira drugim krutim tijelom, fluidom i/ili česticama [9]. Premda postoji nebrojeno veliki broj slučajeva trošenja, većina je autora suglasna da postoje samo četiri osnovna mehanizma trošenja [10]:

- abrazija
- adhezija
- umor površine
- tribokorozija

Mehanizmi trošenja opisuju se jediničnim događajima. Jedinični događaj je slijed zbivanja koji dovodi do odvajanja jedne čestice trošenja s trošene površine. On uvijek uključuje proces nastajanja pukotina i proces napredovanja pukotina. [11]

Abrazija

Abrazija je trošenje istiskivanjem materijala, uzrokovano tvrdim česticama ili tvrdim izbočinama [10]. Sastoji se od dva jedinična događaja. Prvi se sastoji od prodiranja abrazivne čestice u osnovni materijal pod djelovanjem normalne komponente sile *Fn*. Drugi se sastoji od istiskivanja materijala u obliku čestice trošenja pod djelovanjem sile *Ft*, [8].

Mogu se pojaviti dvije vrste abrazije:

- Abrazija u dodiru dvaju tijela
- Abrazija u dodiru tri tijela

Adhezija

Adhezijsko trošenje karakterizira prijelaz materijala s jedne klizne plohe na drugu pri relativnom gibanju, zbog procesa zavarivanja krutih faza, [9]. Jedinični događaj adhezije može se opisati u tri faze. Prva faza: nastanak adhezijskog spoja na mjestu dodira, različitog stupnja jakosti. Druga faza: raskidanje adhezijskog spoja, čestica trošenja ostaje spontano nalijepljena na jednom članu kliznog para. Treća faza: eventualno otkidanje čestice trošenja, čestica trošenja je uglavnom listićasta ali ovisi o uvjetima trošenja. [8]

Umor površine

Umor površine je odvajanje čestica s površine uslijed cikličkih promjena naprezanja [9]. Jedinični događaj umora površine sa sastoji od tri faze. Prva faza: stvaranje mikropukotine ispod površine. Druga faza: napredovanje pukotine. Treća faza: ispadanje čestice trošenja u obliku pločice ili ivera. [8]

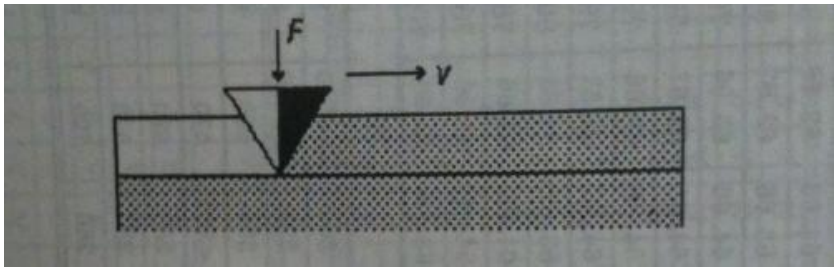
Tribokorozija

Tribokorozija ili tribokemijsko trošenje je mehanizam trošenja pri kojem prevladavaju kemijske ili elektrokemijske reakcije materijala s okolišem. [9] Jedinični događaj tribokorozije se sastoji od dvije faze. Prva faza: stvaranje produkta korozije. Druga faza: mjestimično razaranje sloja produkta korozije . [8]

3.1 Mehanizmi trošenja rezne ploče

U radu rezne ploče dolazi do trošenja rezne ploče na mjestu dodira ploče i betona. Oblik trošenja koji ovdje prevladava je trošenje abrazijom, tj. djelovanje tvrdih čestica na odnošenje djelića radne plohe alata (mikrorezanje). Još se može pojaviti adhezija, ali samo u slučaju kada rezna ploča reže armirani beton i kada prolazi kroz čeličnu "armaturu" gdje može doći do naljepljivanja čelika na reznu ploču, ali to je skoro zanemarivo.

Shematski se djelovanje abrazijskog zrna može predoćiti slikom.



Slika 18. Shematska predodžba mikrorezanja [12]

Kako bi se alatni materijal odupro ovom obliku trošenja nužno je da mu temeljna željezna matrica bude tvrda. Abrazivno trošenje nije samo ono do kojeg dolazi zbog ulaska treće

čestice između kontaktnih površina, već to može biti dodir između dvije površine od kojih barem jedna ima ispupčenje u obliku uzvišenja površine, pa će stoga zbog primjene sile na površini doći do abrazivnog djelovanja s time ako je to ispupčenje veće tvrdoće. Oko 90 % alata dotrajava zbog trošenja, pretežno abrazijom → "mikrorezanjem". Trošenje izaziva zatupljivanje oštrice reznog alata. Otpornost abrazijskom trošenju alata primarno je funkcija mikrostrukturnog stanja čelika, tj. traži se:

– martenzitna mikrostruktura,

– što viši udio kvalitetnih karbida. [12]

Na osnovu trošenja pile se procjenjuju svojstva pile, utjecaj trošenja na kvalitetu površine, rezna sila i potrošnja energije. Idealna pila imala bi visoku tvrdoću, visoku žilavost, otpornost na abraziju, otpornost na oksidaciju uz uvjet da zadrži ta sva svojstva i na visokim temperaturama, ali u stvarnosti ne postoji pila koja objedinjuje sva ta svojstva. Neka od tih svojstava su međusobno suprotna, npr. ako se tvrdoća povećava, žilavost opada.

3.2 Materijali za rezne ploče

Osnovni materijal je kod svih reznih ploča čelik za poboljšavanje martenzitne strukture. Mora biti zakaljen materijal kako bi imao što veću tvrdoću, a time i otpornost trošenju. Ploče se razlikuju po materijalu reznih pločica i količini dijamanata u reznoj oštrici, gdje se osim na materijal za koji su namijenjene dijele i na "best", "expert" i "professional". Redom to označava najdugotrajniju ploču sa najviše dijamanta, namijenjenu prvenstveno za velike zahvate po pitanju rezanja betona ili nekog drugog materijala, dok dalje slijede također kvalitetne ploče, ali koje će se puno prije potrošiti. [6]

Matrica u kojoj su smješteni dijamanti može sadržavati različite materijale kako bi što bolje odgovorila zahtjevima rezanja. Osim bakra koji u matrici služi kao vezivo i željeza koji daje dobra svojstva, a relativno je jeftino, u matricu se dodaje ili jedan ili više sljedećih elemenata. Kombinacijom tih elemenata postižu se odlična mehanička svojstva rezne pločice.

-Volframov karbid povećava otpornost prema trošenju.

-Titanov karbid ima veliku otpornost trošenju, ali se povećanjem udjela smanjuje čvrstoća i žilavost.

-Tantalov karbid pospješuje pojavu sitnog zrna i poboljšava čvrstoću.

-Kobalt znatno povećava žilavost.

Tvrdi metali na bazi volframovih karbida (WC) najčešće se koriste pri proizvodnji rezne pločice i pokrivaju najveći dio proizvodnje reznih pločica,dok , tvrdi metali na bazi volfram-titanovih i tantalovih karbida (WC, TiC, TaC) koriste se za veče brzine rezanja, za rezanje tvrđih materijala i rezne pločice od tih karbida znatno su skuplje. [13]

Najvažnija činjenica je da tvrdoća matrice kontrolira kako će se brzo rezna oštrica troši. Rezna oštrica za rezanje betona manje gustoće, treba imati tvrđu metalnu vezu kako bi se dijamanti što duže zadržali u matrici i bili iskorišteni u potpunosti. S druge strane, oštrica za rezanje betona veće gustoće, treba imati mekšu matricu bi se omogućilo veće trošenje matrice, što bi osiguralo konstantno izlaganje novih oštrih dijamanata. [14]

3.3 Reparacija rezne ploče:

Količine odbačenih materijala u prirodi u izravnoj su vezi s količinama dobara. Recikliranje je ponovna uporaba iskorištenih, odnosno odbačenih materijala za istu ili različitu svrhu, s prethodnom doradom ili bez nje. Pojam reparacija vezan je uz popravke, dorade ili ponovnu uporabu dotrajalih sklopova, uređaja ili strojeva. [15]

Uloga recikliranja i regeneriranja poglavito je ekonomska i ekološka, a osnovne prednosti su:

1. Očuvanje zaliha neobnovljivih izvora sirovina preradom otpadnih ili odbačenih materijala (proizvoda).
2. Ušteda energije pri dobivanju materijala iz sekundarnih sirovina u odnosu na dobivanje materijala iz primarnih sirovina.
3. Zaštita okoliša smanjivanjem deponiranog otpada u okoliš. [15]

Rezne ploče, kada se potroši rezna pločica i ako same nisu potrošene idu na reparaciju. Skidaju se rezne pločice i čisti se rezna ploča kako bi na nju mogle biti navarene nove rezne pločice. Tako se iskoristila osnova materijala, najveći volumen tog materijala bez da se trebao ponovno izrađivati. Smanjio se trošak energije što je trebao biti uložen u dobivanje nove rezne ploče.

4 EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE

U eksperimentalnom dijelu rada ispitivat će se rezna ploča namijenjena za rezanje betona i armiranog betona, njezina rezna pločica, osnovni dio rezne ploče i dat će se uvid o načinu spajanja rezne pločice na osnovni materijal kao i način izrade rezne pločice. Prikazane će biti slike, objašnjenja i rezultati kemijske analize osnovnog materijala, metalografske analize cijele rezne ploče, SEM-a, EDS-a, tvrdoće po presjeku i trošenja rezne ploče. Na slici 19. prikazana je rezna ploča za beton i armirani beton proizvođača „Dijamant mineral“.

Slika 19. Prikaz cijele rezne ploče promjera 35 cm za beton i armirani beton

4.1 Skenirajući elektronski mikroskop, SEM

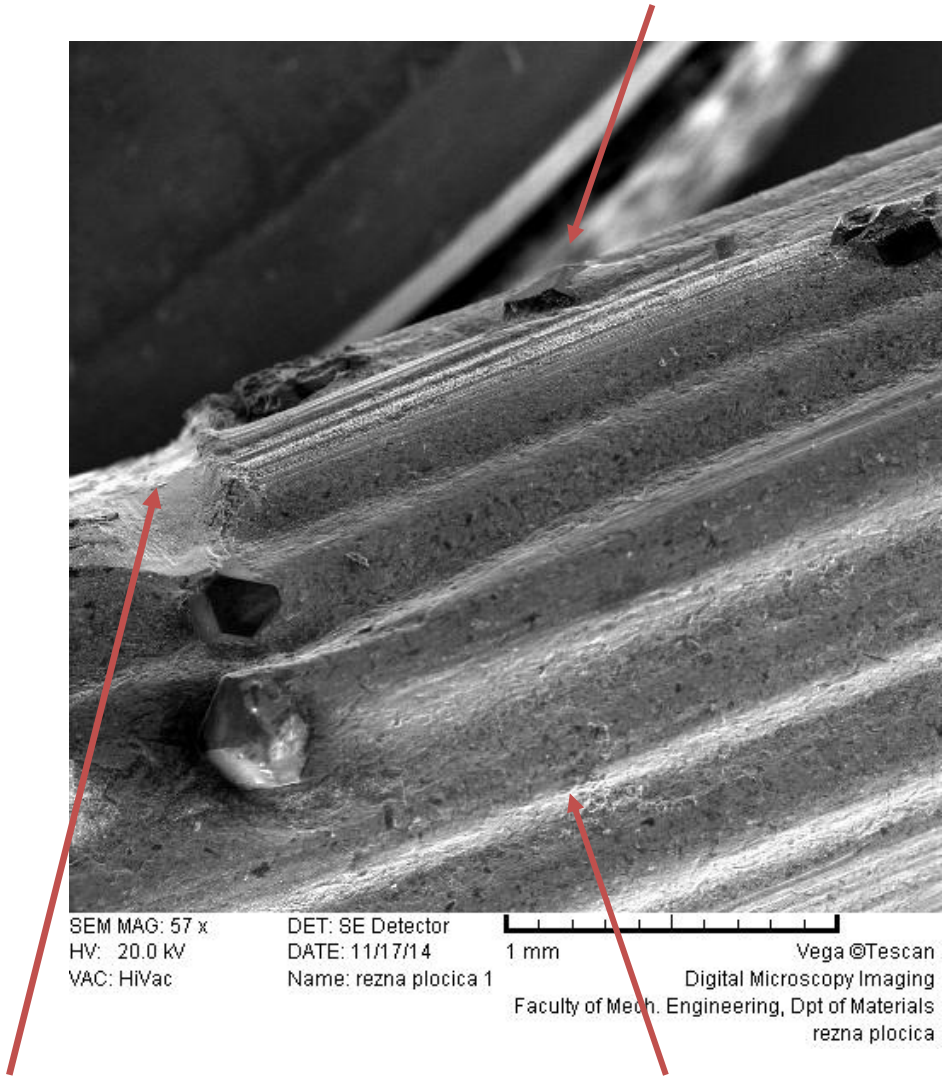
SEM mikroskopi rade na principu skeniranja površine preciznim snopom elektrona, a taj snop pobuđuje (izbija) elektrone u sastavu atoma uzorka. Energije proizašlih elektrona iz uzorka skupljaju se i mjere specijalnim detektorima i uz pomoć mikroprocesora stvara se pseudotrodimenzionalna slika valnih duljina elektrona jedinstven za element koji se nalazi uzorku. Kod SEM mikroskopa razlikuju se dvije vrste signala - sekundarni elektroni SE i raspršeni engl. “Backscattered„ elektroni BSE. Sekundarni elektroni (SE) su elektroni atoma koji su izbačeni uslijed interakcije s primarnim elektronima iz snopa. Općenito imaju vrlo malu energiju (po definiciji manju od 50 eV). Zbog te njihove male energije mogu iskočiti samo iz vrlo plitkog dijela površine uzorka. Kao rezultat daju najbolju rezoluciju slike. Raspršeni elektroni (BSE) su primarni elektroni iz snopa koji su se odbili nazad od površine uzorka uslijed elastičnih međudjelovanja s jezgrom atoma iz uzorka. Imaju visoku energiju, koja (po definiciji) seže od 50 eV pa sve do napona koji imaju ubrzani elektroni iz snopa. Njihova viša energija rezultira većim opsegom interakcije i degradacijom rezolucije slike dobivene backscattered elektronima. [16]

4.1.1 Rezultati SEM-a

Na uzorcima pod povećanjem vide se tragovi abrazivnog trošenja na reznoj površini, ali također i na bočnim površinama.

Uzorak

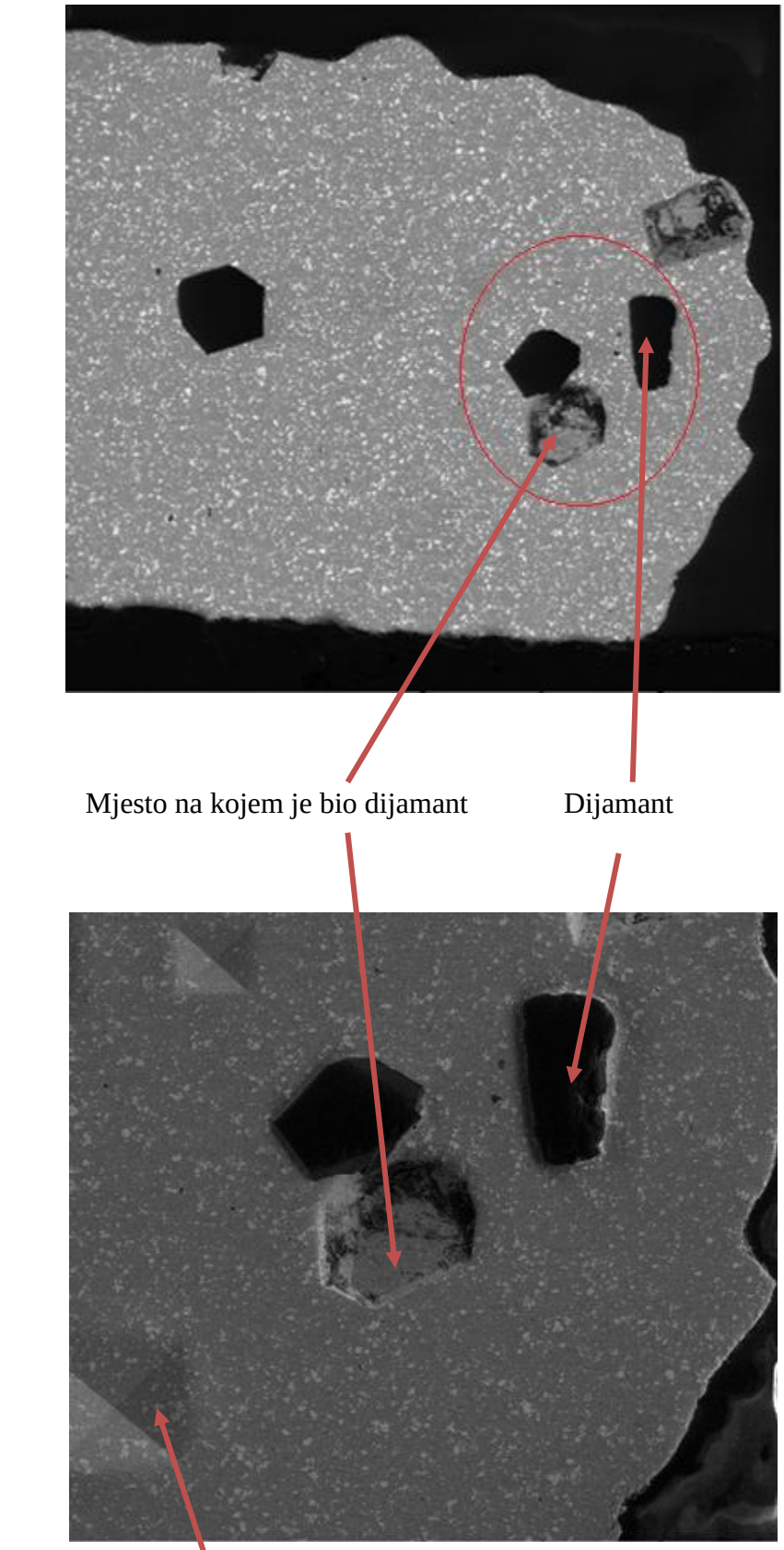
Nepotrošeni dijamant



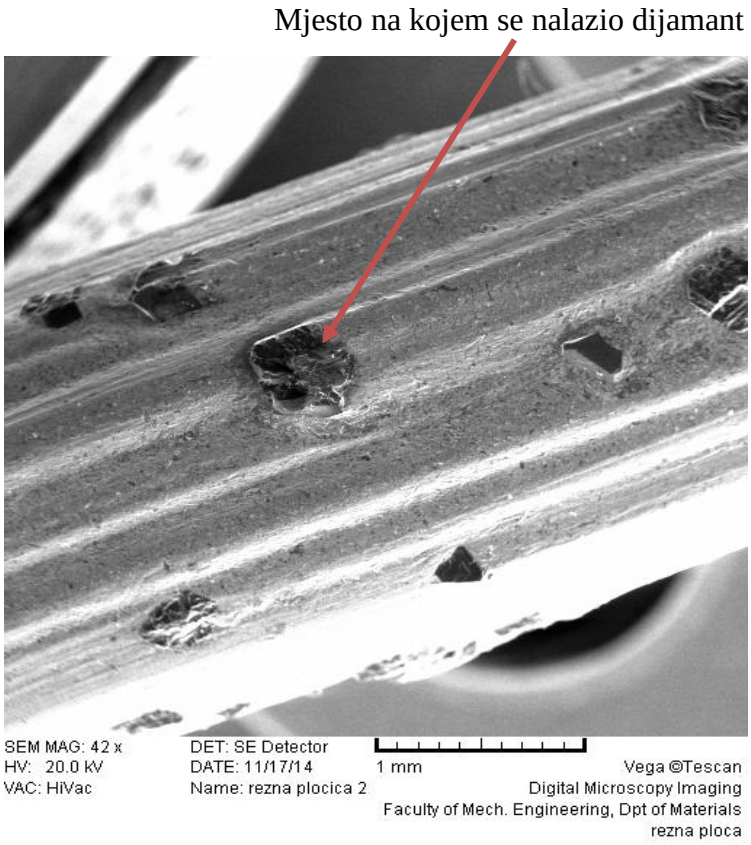
Udubljenje nastalo udarcem prilikom transporta rezne ploče.

Tragovi trošenja

Slika 20. Prikaz bočne površine rezne ploče



Slika 21. Prikaz dijamanta i mjesta na kojem je bio dijamant



Slika 22. Rezna površina rezne pločice od 2 mm izmjereno na SEM-u

4.2 KEMIJSKA ANALIZA UZORKA

U Laboratoriju za analizu metala Fakulteta strojarstva i brodogradnje napravljena je kvantitativna kemijska analiza osnovnog materijala rezne ploče u svrhu određivanja kemijskog sastava. Ispitivanje je izvršeno metodom optičke emisijske spektrometrije na uređaju Leco (Glow Discharge Atomic Emission Spectometar) GDS 850.

Ovim uređajem se materijal jednoliko odvaja od površine uzorka snopom iona argona. Taj odvojeni materijal se tada atomizira i „uzbuđuje“ u niskotlačnom pražnjenju plazme, udaljeno od površine uzorka. Ovim uređajem moguće je odrediti i kemijski sastav prevlaka. Ima opseg spektra od 120 do 800 nm.[17]

4.2.1 Rezultati kemijske analize uzoraka

U tablici je prikazan kemijski sastav osnovnog dijela rezne ploče, onog što čini najveću površinu rezne ploče i na koji su zavarene rezne pločice.

Tablica 2. Rezultati kemijske analize osnovnog dijela rezne ploče

oznaka uzorka	%									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe
x	0,36	0,21	0,75	0,016	0,005	0,94	0,02	0,18	0,01	ostatak

Na osnovu dobivenih rezultata može se zaključiti se da se radi o čeliku C45, nelegiranom alatnom čeliku za hladni rad.

4.3 METALOGRAFSKA ANALIZA

4.3.1 Analiza mikrostrukture

Priprema uzorka

Priprema uzorka je postupak koji se također sastoji od nekoliko faza koje je nužno ispoštovati, a to su:

- Izrezivanje uzorka
- Ulijevanje uzorka
- Brušenje uzorka
- Poliranje uzorka
- Nagrizanje uzorka (nagrizanje NITAL-om)

Svaki od navedenih postupaka je strogo normiran i provodi se po standardima za određenu vrstu materijala koju je potrebno analizirati.

Izrezivanje uzorka

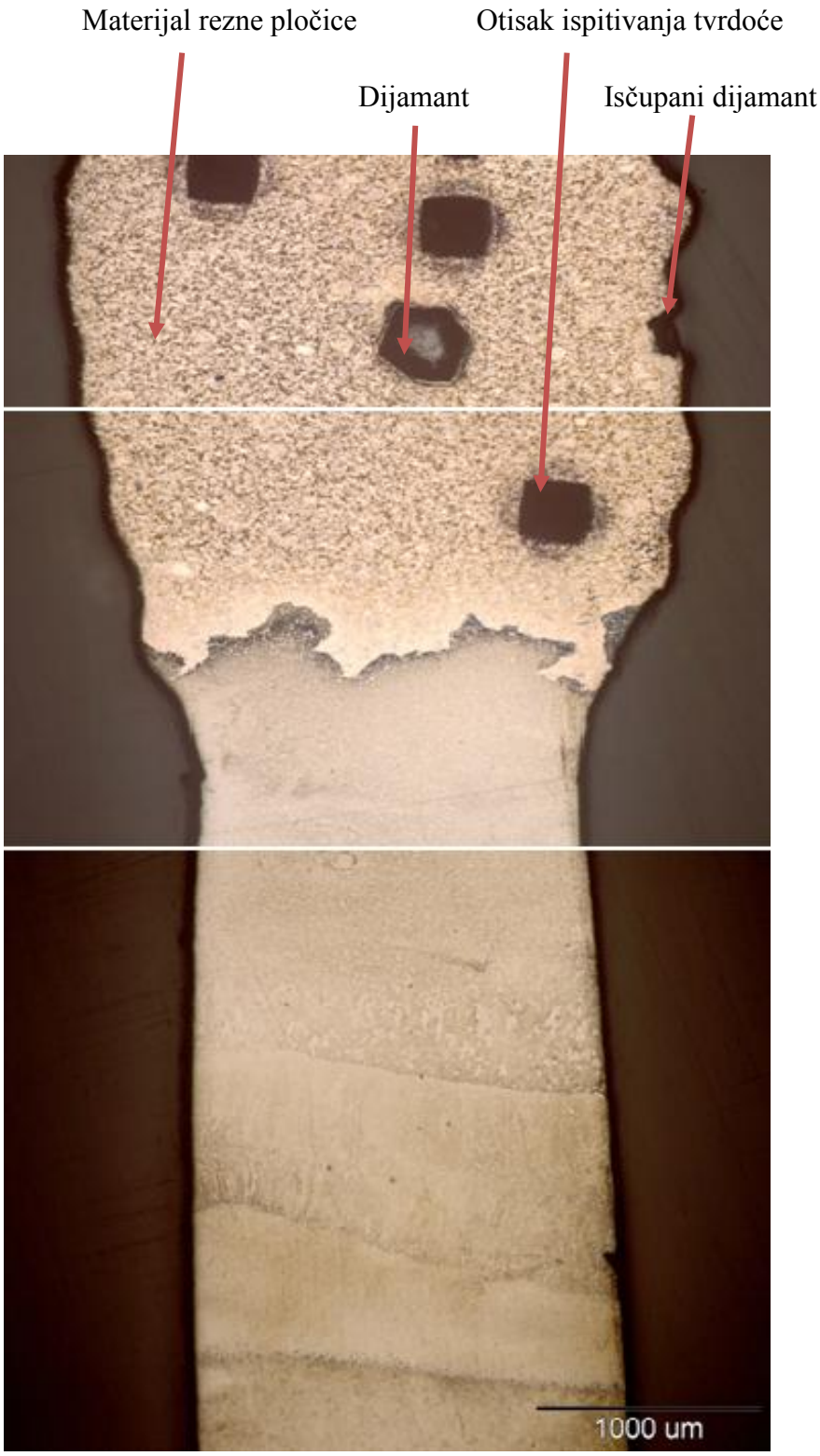
Iz rezne ploče izrezuje se komad koji će biti prilagođen određenim ispitivanjima, nakon daljnjih obrada uzoraka. Negativna strana ovog ispitivanja je što poslije izrezivanja uzoraka rezna ploča više neće moći biti upotrebljena u svrhu svoje osnovne funkcije rezanja.

Slika 23. Prikazuje izrezan komad rezne ploče, pomoću kružne pile za željezo

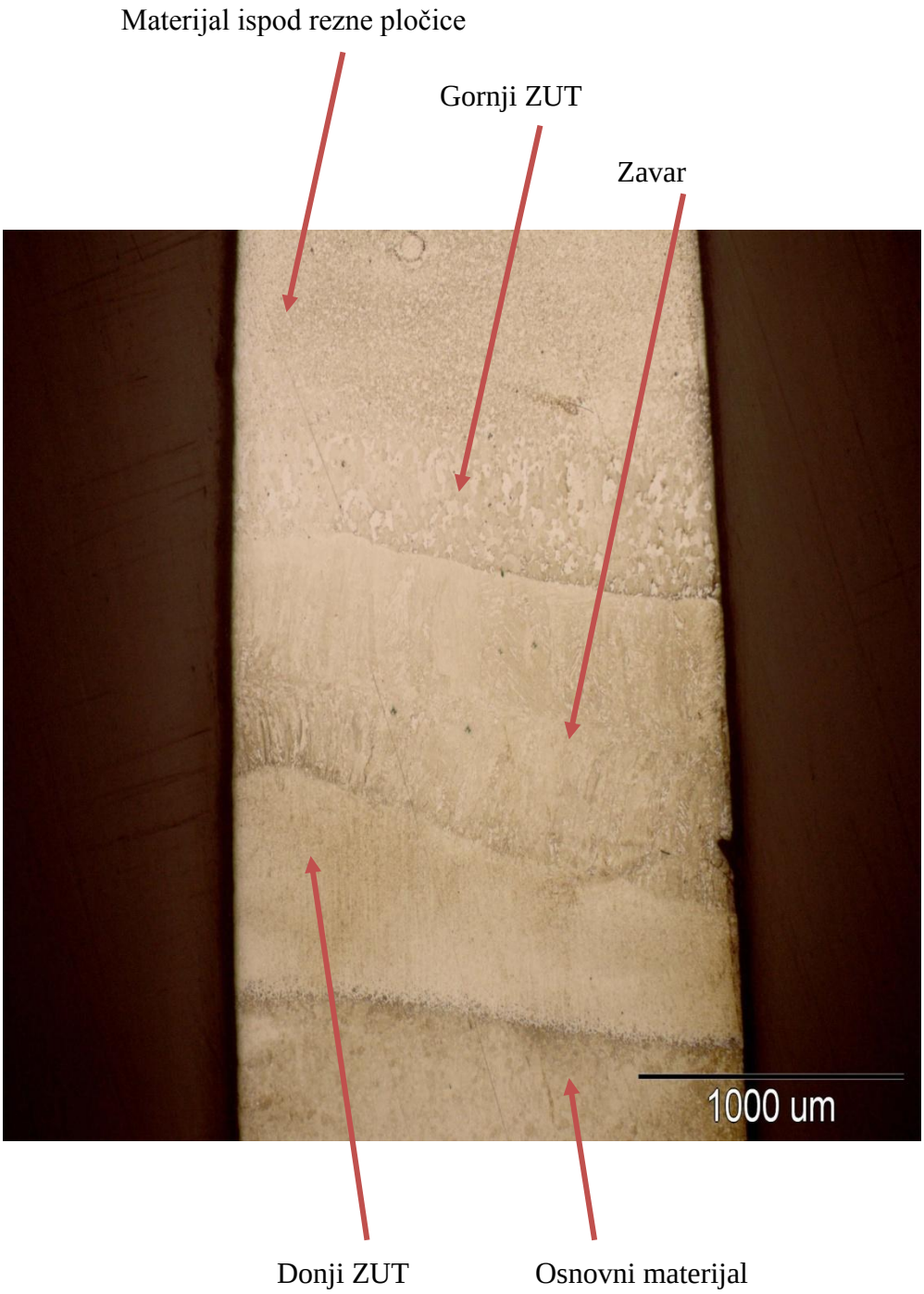
Slika 24. Uzorak spreman za metalografsku analizu

4.3.2 Prikaz mikrostrukture

Na slikama se vide mikrostrukture po presjeku uzorka fotografirane na svjetlosnom mikroskopu Olympus GX51. Na slici dolje prikazan je u cijelosti metalografski uzorak rezne ploče kako bi se što bolje mogla shvatiti cjelokupna metalografska analiza.



Slika 25. Prikaz presjeka metalografskog uzorka u cjelini sa povećanjem 50x

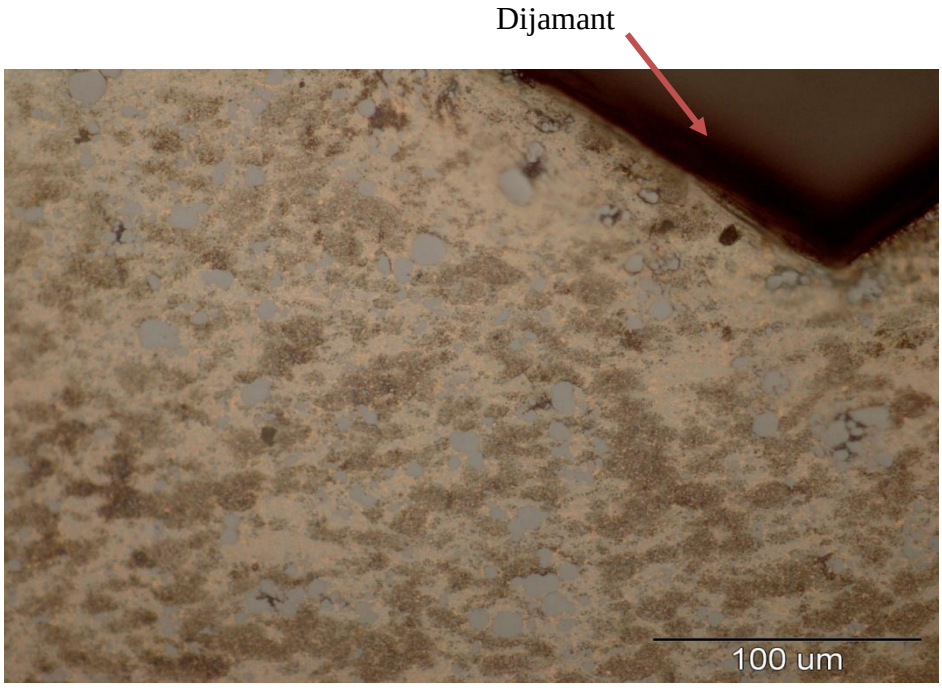


Slika 26. Prikaz zavara između osnovnog materijala i materijala ispod rezne pločice

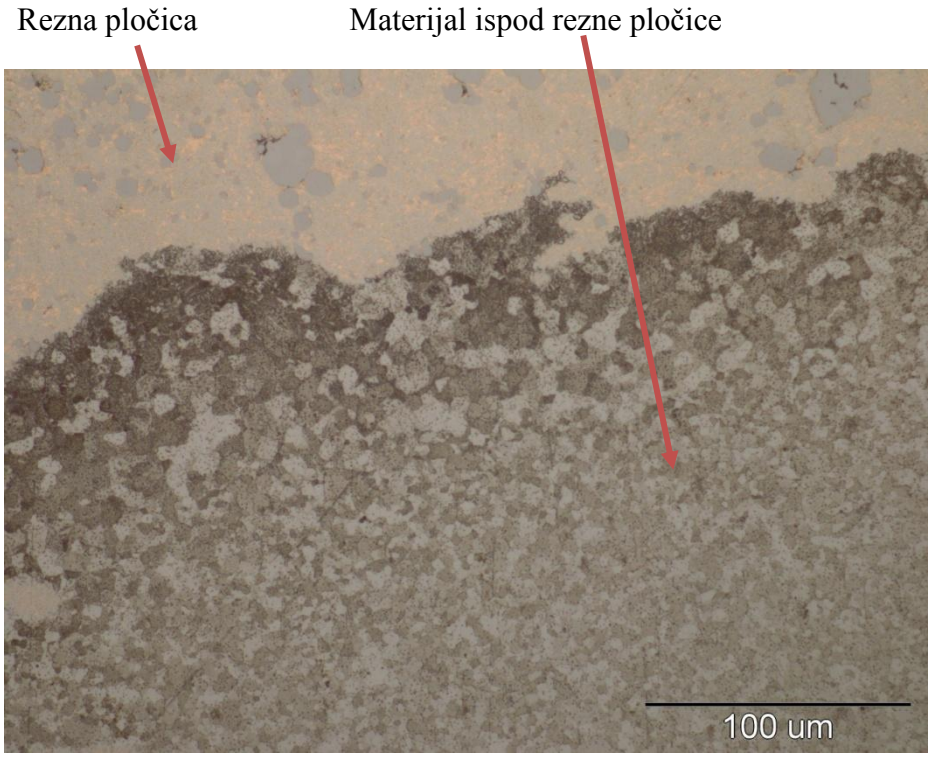
Zavar je dobiven postupkom laserskog zavarivanja. Zavarivanje laserom izvodi se u atmosferi zaštitnog plina. Laser kao izvor topline djeluje koncentrirano i uzrokuje velike brzine zagrijavanja i hlađenja zavarenog spoja. Lasersko zavarivanje koristi se kod tankostijenih i laganih konstrukcija, te kod zavarivanja dijelova obrađenih na mjeru, koji nakon zavarivanja idu direktno u eksploataciju bez naknadne obrade. Koristi se za zavarivanje proizvoda koji su osjetljivi na unos topline, te proizvoda kod kojih nisu dozvoljene deformacije. [20]

Na slici 27. se vidi mikrostruktura rezne pločice i u gornjem desnom kutu dijamant koji je mutno prikazan jer nije mogao biti bolje izbrušen zbog svoje visoke tvrdoće. Rezna pločica je

proizvedena metalurgijom praha od materijala koji će biti naknadno navedeni u poglavlju o EDS-u.



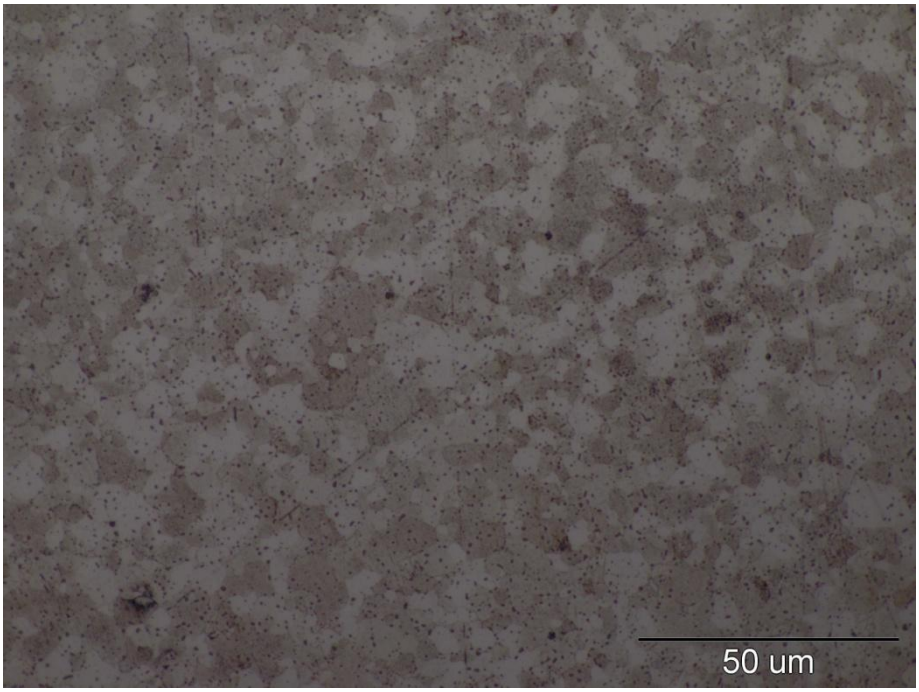
Slika 27. Prikaz rezne pločice povećanja 500x



Slika 28. Rezna pločica i materijal ispod rezne pločice 500x

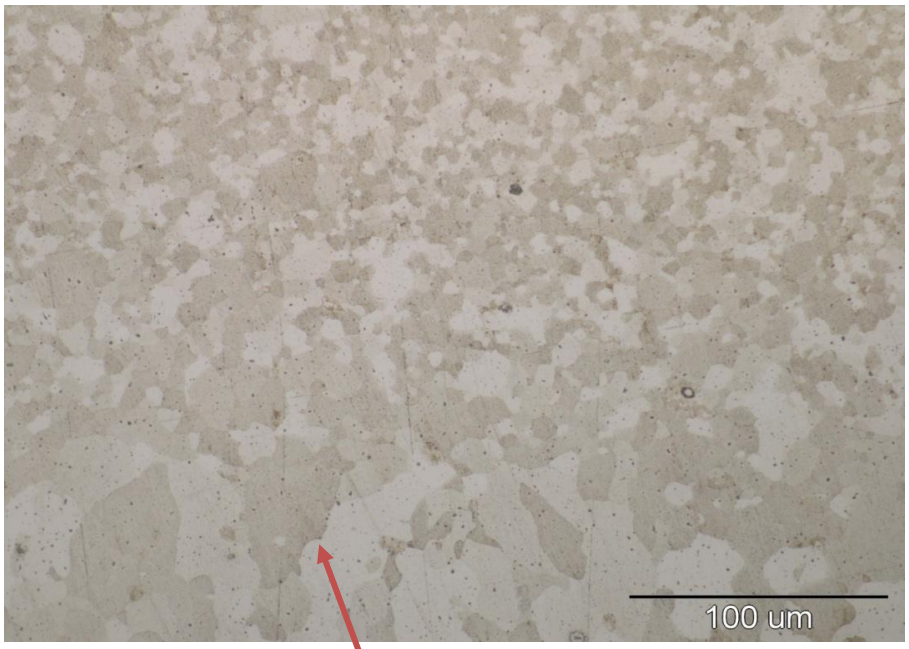
Na slici 28. je prikazan spoj rezne pločice i materijala ispod rezne pločice koji je nastao prilikom proizvodnje rezne pločice uslijed sinteriranja materijala rezne pločice jer se materijal ispod rezne pločice sinterira u kalupu zajedno sa reznom pločicom Tamniji sloj na slici, na spoju rezne pločice i materijala ispod rezne pločice ukazuje na višak perlita koji je difundirao iz rezne pločice u materijal ispod rezne pločice.

Na slikama 29-35 prikazane su slike mikrostrukture.



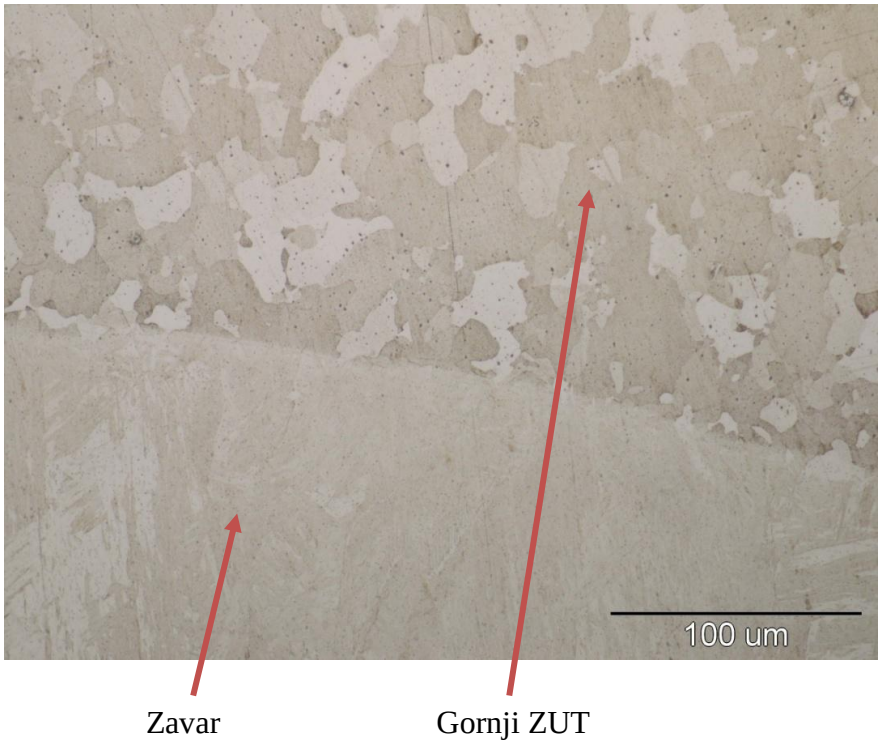
Slika 29. Materijal ispod rezne pločice 1000x

Na slici 29. Prikazana je mikrolegirana sitnozrnata perlitno feritna struktura.

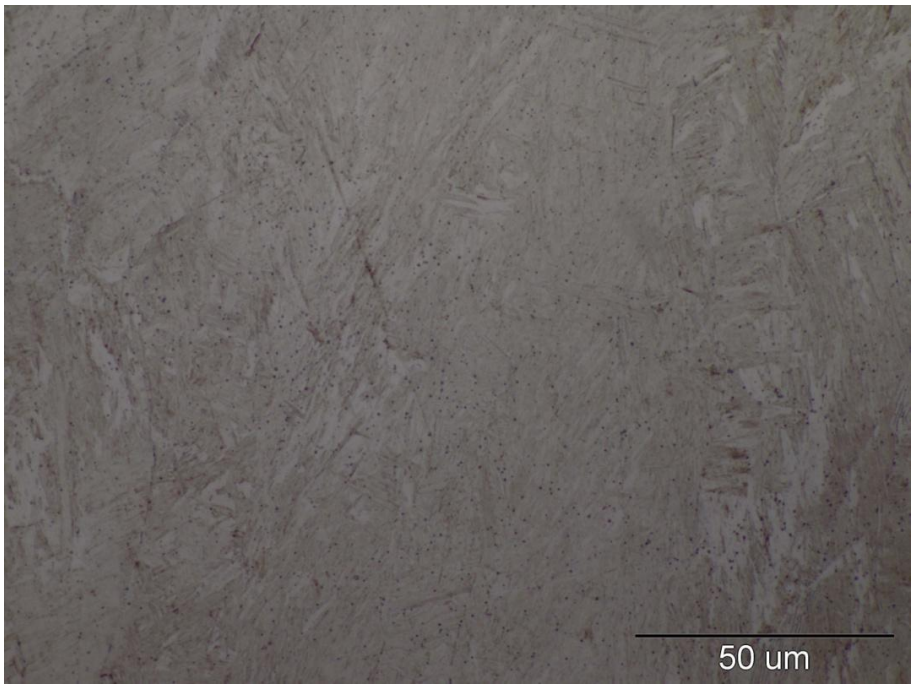


Slika 30. Materijal ispod pločice i gornji ZUT povećanja 500x

Na slici 30. prikazana je zona utjecaja topline laserskog zavarivanja na mikrolegiranu sitnozrnatu strukturu gdje se može uočiti pogrubljenje zrna. Taj grubozrnati feritno perlitni čelik bi trebalo popustiti kako bi imao bolja mehanička svojstva jer se, prebrzim hlađenjem nakon laserskog zavarivanja koje unosi veliku količinu topline, zaostala naprezanja nisu uspjela reducirati.

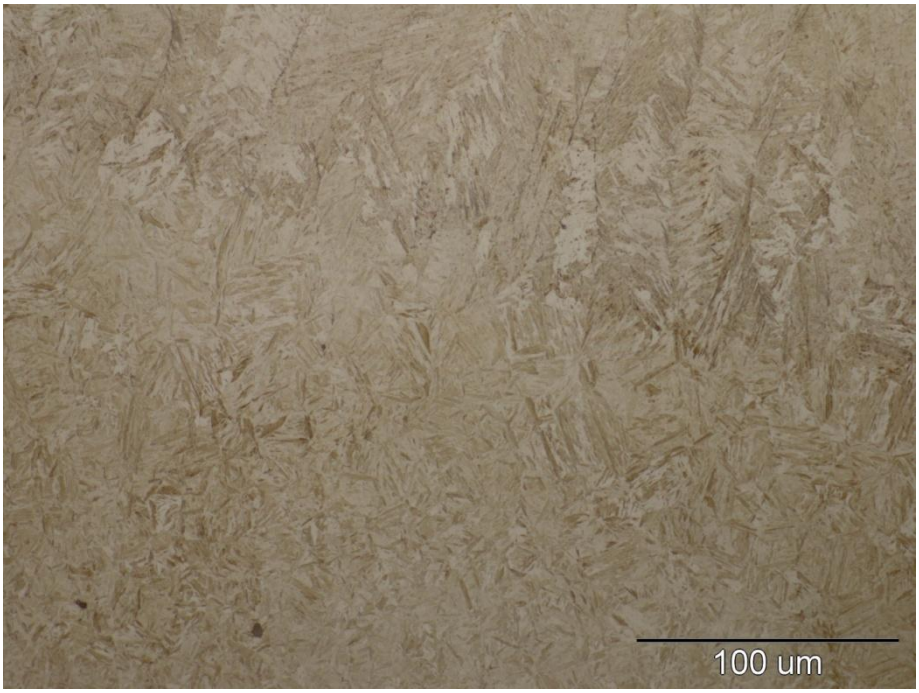


Slika 31. Gornji ZUT i zavar 500x



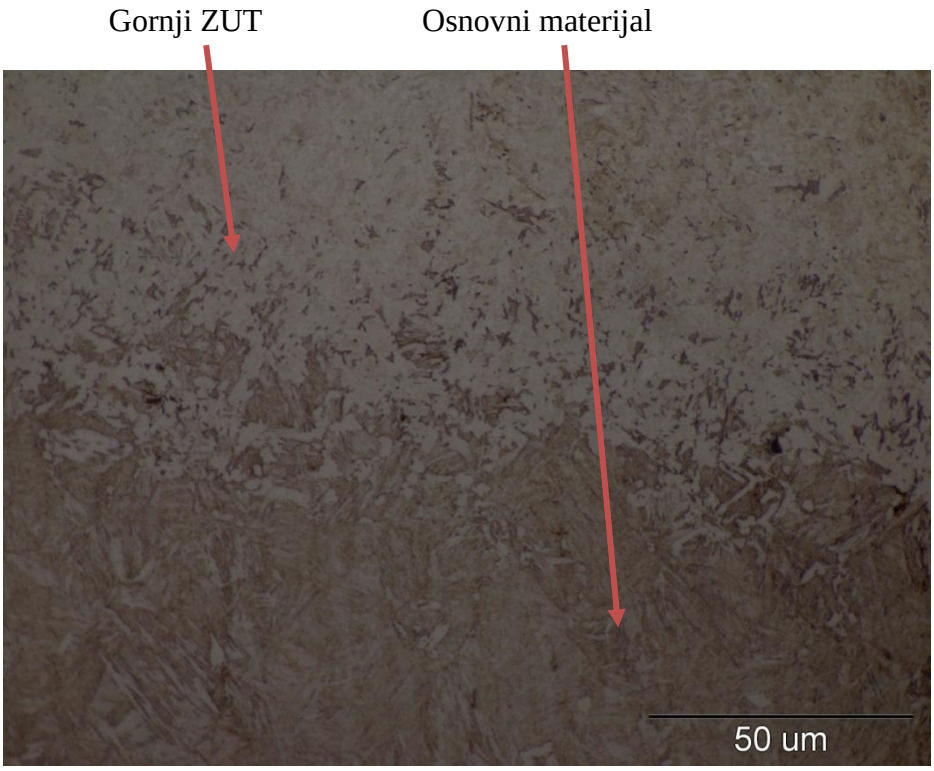
Slika 32. Prikaz zavara između osnovnog materijala i materijala ispod rezne pločice 1000x

Na slici 32. prikazana je struktura materijala zavara koja je nastala spajanjem osnovnog materijala i materijala ispod rezne pločice prilikom brzog hlađenja nakon laserskog zavarivanja. Pošto je hlađenje brzo, ferit koji je kristalografski orijentiran kao i austenit, više neće precipitirati na granicama austenitnog zrna kao kuglasta zrnca, već u obliku iglica ili pločica, pa nastaje tzv. Widmanstattenova struktura. [18]

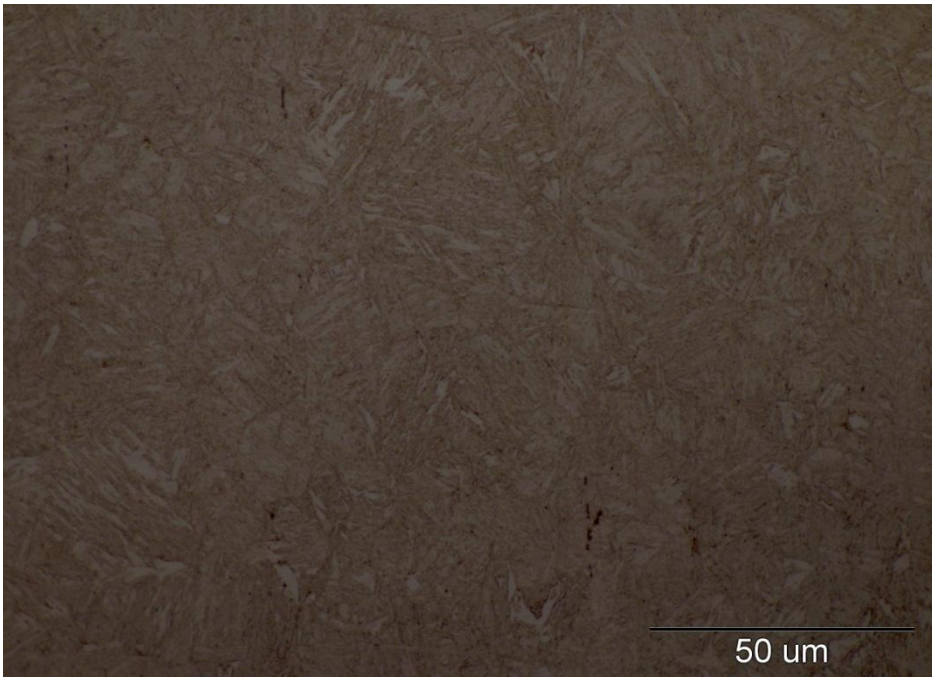


Slika 33. Prikazuje područje zavara i donjeg ZUT-a 500x

Može se uočiti da je granica između zavara i donjeg ZUT-a, slika 33., slabije izražena i da se područje donjeg zavara također zakalilo nakon brzog hlađenja i nastao je nepopušteni martenzit.



Slika 34. Prikaz gornjeg ZUT-a i osnovnog materijala 1000x



Slika 35. Prikaz osnovnog materijala povećanja 1000x

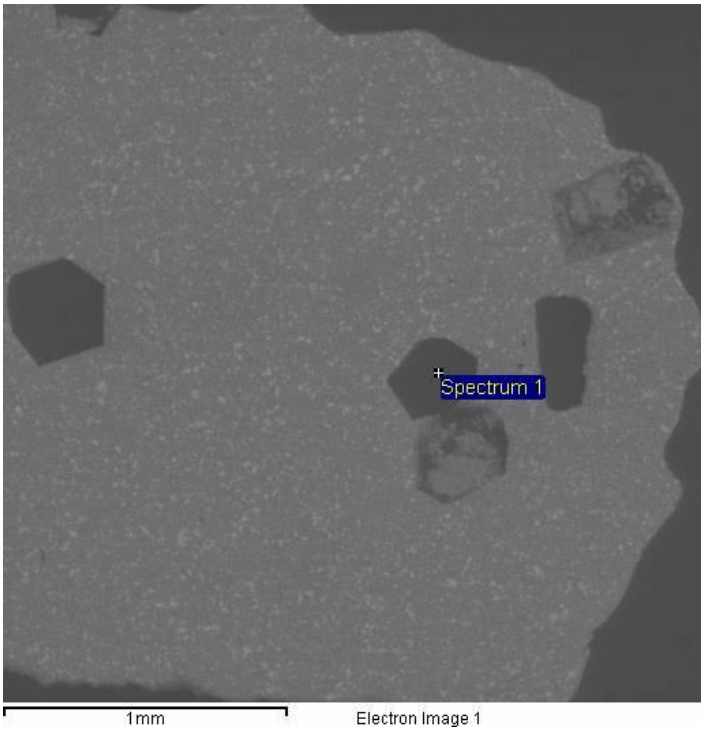
Osnovni materijal je čelik za poboljšavanje martenzitne strukture sa udjelom ugljika od 0.34% .

Zaključci o mikrostrukturama po presjeku rezne ploče dobivene su uspoređivanjem sa metalurškim atlasom. [21]

4.4 EDS

X-zrake nastaju kad ubrzani elektron, uglavnom iz snopa elektrona, "izbije" elektron iz unutarnje ljuske istog atoma. Elektron iz vanjske ljuske, s višom energijom, tada popunjava upražnjeno mjesto i otpušta "višak" energije u obliku fotona X-zrake. Zbog toga što se energija elektrona razlikuje od ljuske do ljuske unutar atoma i specifična je za svaki određeni element, energija emitiranog fotona X-zrake karakteristična je za pobuđeni atom. Spektrometar X-zraka prikuplja te karakteristične X-zrake, broji ih i sortira, uobičajeno na temelju energije (Energy Dispersive Spectrometry – EDS). Dobiveni spektar iscrtava broj X-zraka, na okomitoj osi, nasuprot energiji, na vodoravnoj osi. Vrhovi na spektru odgovaraju elementima prisutnim u uzorcima. Visina vrha energije na spektru označava koji je element u pitanju. Broj signala u određenom vrhu na spektru označava udio elementa u analiziranom dijelu uzorka. [16]

Prikaz uzorka na EDS-u

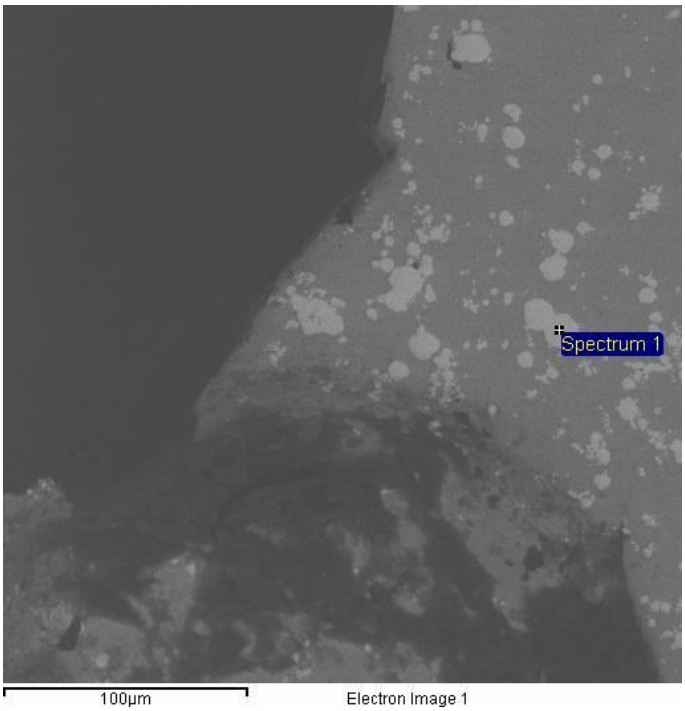


Slika 36. EDS analiza rezne pločice (reznog segmenta)

Tablica 3. Atomski i maseni udio elemenata uzorka

Element	Weight%	Atomic%
C K	100.00	100.00
Totals	100.00	

Mikrokemijski sastav ukazuje da se radi o dijamantu. Dijamant je čisti ugljik. Ima dijamantnu kubičnu kristalnu rešetku. Pet je puta tvrđi od tvrdih kovina. Dijamant je najtvrđi rezni materijal i najotporniji prema trošenju. Nedostaci su mu osjetljivost na udarce i niska tlačna čvrstoća. U uporabi je prirodni monokristalni dijamant (za finu obradu), prirodni polikristalni dijamant i umjetni (PCD) dijamant. Dijamantni alati primjenjuju se za obradu grafita, keramike, stakla, kamena, betona azbesta i nekih metalnih materijala. [22]

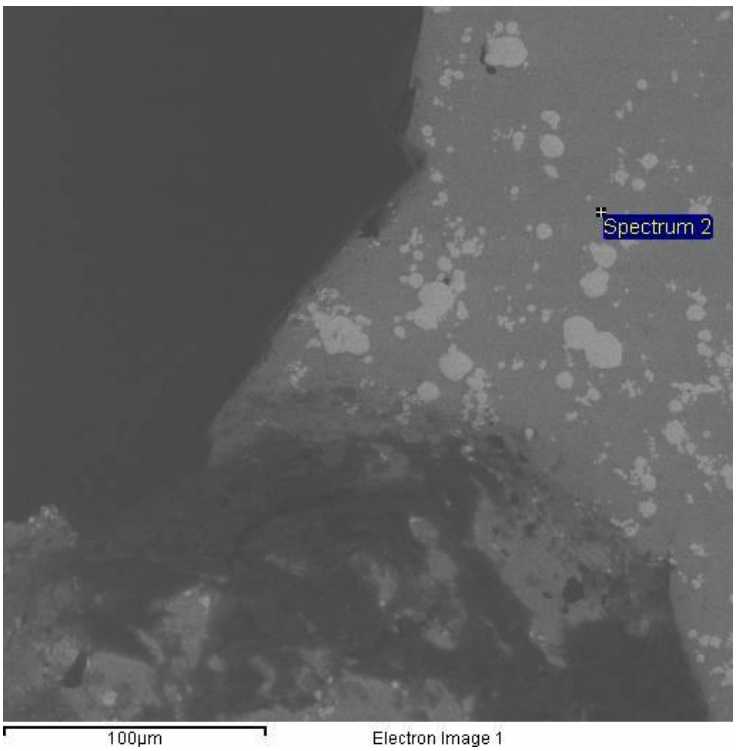


Slika 37. EDS analiza najzastupljenijeg elementa matrice, rezne pločice

Tablica 4. Atomski i maseni udio elemenata uzorka

Element	Weight%	Atomic%
C K	11.95	67.50
W M	88.05	32.50
Totals	100.00	

Iz analize mikrokemijskog sastava tablice 4. doznaje se da se radi o volframnom karbidu koji ima za cilj povećati otpornost trošenja matrice rezne pločice. [22] Volframov karbid je izrazito tvrd i otporan pri visokim tempraturama.

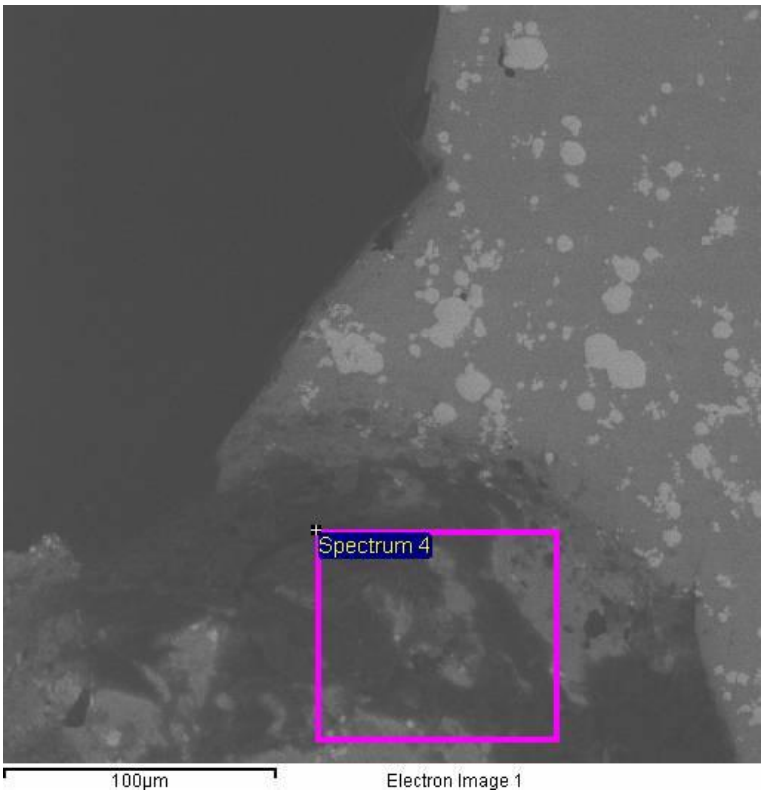


Slika 38. EDS analiza

Tablica 5. Atomski i maseni udio elemenata uzorka

Element	Weight%	Atomic%
C K	10.21	35.72
Fe K	41.76	31.42
Co K	21.09	15.04
Cu K	26.94	17.82
Totals	100.00	

Mikrokemijski sastav tablice pokazuje sastav matrice rezne pločice. Bakar služi kao vezivo. Kobalt znatno utječe na žilavost. [22] Ugljika ima u prekomjernim količinama zbog toga što je došao iz okoline. Željezo je jeftino za razliku od kobalta, a ima dobra mehanička svojstva tako da je u najvećem postotku zastupljen u matrici rezne pločice.



Slika 39. EDS analiza

Tablica 6. Atomski i maseni udio elemenata uzorka

Element	Weight%	Atomic%
C K	52.37	71.80
O K	20.67	21.28
Fe K	13.49	3.98
Co K	4.30	1.20
Cu K	5.42	1.41
W M	3.74	0.33
Totals	100.00	

Slika 39. prikazuje mjesto na kojem je bio dijamant, ali se iščupao u radu. Mikrokemijski sastav mjesta na kojem je bio dijamant, trebao je biti sličan kao i kemijski sastav matrice jer je isti materijal matrice u pitanju, ali malo se razlikuje jer je u analizi obuhvaćeno veliko područje.

4.5 MJERENJE TVRDOĆE VICKERSOVOM METODOM (HV) [22]

Ispitivanje tvrdoće po Vickersu se vrši tako da se u površinu ispitnog materijala utiskuje šiljak u obliku piramide s kutom 136° proizvoljnom silom F. Vickersova tvrdoća HV se računa iz sile pritiska *F* (N) i srednje vrijednosti udaljenosti vrhova d_{HV} (mm).

$$HV = 0{,}1981\frac{F}{{d_{HV}}^2}$$

$$d_{HV} = \frac{d1 + d2}{2}$$

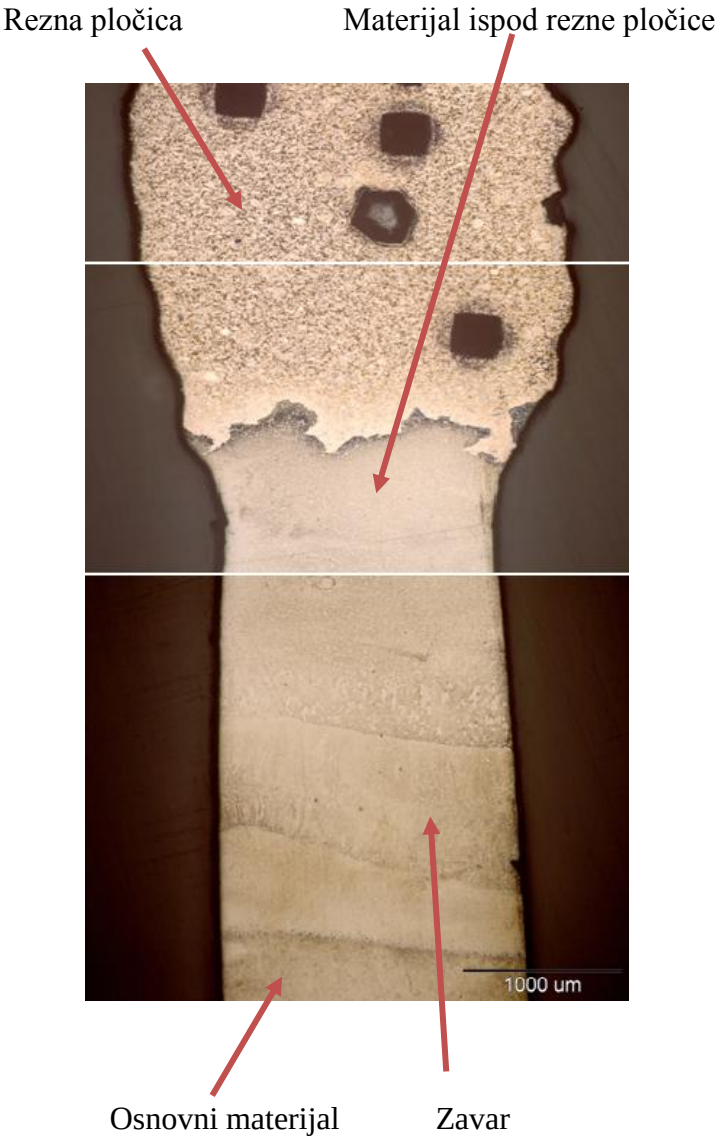
gdje su d_1 duljina prve dijagonale, a d_2 duljina druge dijagonale. [26]

Prije samog mjerenja uzorak je bilo potrebno pripremiti, iz razloga što se bez pripreme nisu mogle očitati vrijednosti dijagonala. Priprema uzorka je ista kao i kod ispitivanja analize mikrostrukture.

Tvrdoća je mjerena na osnovnom materijalu, zavaru i na reznoj pločici. Za ispitivanje osnovnog materijala korišteno je opterećenje od 200 *g* (HV 0,2), a za ispitivanje rezne pločice koristili smo opterečenje od 30 kg (HV 30).

4.5.1 REZULTATI MJERENJA TVRDOĆE

Na slici 40. strelicama su prikazana mjesta ispitivanja tvrdoće.



Slika 40. Prikaz mjesta ispitivanja tvrdoće po presjeku rezne ploče

Tablica 7. Rezultati mjerenja tvrdoće osnovnog materijala uzorka

Broj mjerenja	HV 0,2
1	355
2	702
3	649
4	526
5	666
Σ	579

Iz izmjerene tvrdoće osnovnog materijala može se zaključiti da osnovni materijal odgovara martenzitnoj popuštenoj strukturi. List rezne ploče mora imati visoku tvrdoću jer u radu ponekad dolazi do bočnog struganja rezne ploče o beton uslijed vibracija i dolazi do trošenja.

Tablica 8. Rezultati mjerenja tvrdoće materijala zavara

Broj mjerenja	HV 0,2
1	649
2	666
3	726
4	746
5	666
Σ	690

Iz tablice 8. je vidljivo da zavar ima visoku tvrdoću jer se laserskim zavarivanjem unosi velika količina topline u materijal i dolazi do jako brzog hlađenja odnosno do samozakaljenja.

Tablica 9. Rezultati mjerenja tvrdoće rezne pločice

Broj mjerenja	HV 30
1	307
2	298
3	308
4	304
5	305
Σ	304

Iz tablice 9. je vidiljivo da je tvrdoća rezne pločice izrazito visoka jer je to dio rezne ploče kojim se reže beton i koja je izložena izuzetnom abrzivnom trošenju.

Tablica 10. Rezultati mjerenja tvrdoće materijala ispod rezne pločice

Broj mjerenja	HV 0,2
1	163
2	159
3	144
4	161
5	178
Σ	161

Iz tablice 10. se uočava da materijal ispod rezne pločice nema visoku tvrdoću jer osigurava žilavost pri udarcu rezne pločice u beton kako bi se kompenzirala sila i kako rezna pločica ne bi bila otkinuta sa rezne ploče.

5 ZAKLJUČAK

Karakteristike reznog alata određuje materijal koji se reže. U slučaju rezanja betona, težnja je bila napraviti rezni alat koji će se moći rezati i kamen u betonu i čelične šipke u slučaju armiranog betona bez da se primijeti razlika u trošenju reznog alata. Potrebno je bilo iskoristiti najtvrđi materijal koji se tehnički može upotrijebiti kako bi efikasnost reznog alata bila maksimalna.

Metalografskom analizom utvrđene su mikrostrukture po presjeku rezne ploče. Rezni dio, rezna pločica koja je pod utjecajem abrazijskog trošenja napravljena je od tvrdog metala postupkom sinteriranja. Dijamant u reznoj pločici je ključan za obradu betona jer svojom tvrdoćom abrazivno djeluje na beton, a matrica je tu kako bi osigurala da dijamant bude čvrsto fiksiran u taj rezni alat i iskorišten dok god ima funkciju rezanja, a zatim trošenjem matrice novi dijamant preuzima ulogu rezanja. Na samu reznu pločicu nastavlja se mikrolegirani sitnozrnati komad materijala koji omogućuje lasersko zavarivanje na osnovni materijal i osigurava dovoljnu žilavost pri radnim opterećenjima. Rezna pločica ne bi se mogla izravno zavariti na osnovni materijal. Osnovni materijal je čelik za poboljšavanje martenzitne strukture, tvrdoće 579 po Vickersu (HV 0,2).

Mehanička svojstva rezne pile i sigurnost od odlomljavanja rezne pločice sa rezne pile mogla bi se poboljšati tako da se područje koje obuhvaća zavar i zonu utjecaja topline, toplinski obradi popuštanjem tog dijela rezne ploče kako bi se smanjila zaostala naprezanja unešena prilikom laserskog zavarivanja. Tada bi se tvrdoća tog dijela malo smanjila, ali u toliko maloj mjeri da bi zanemarivo utjecala na mehanička svojstva, a dobili bi spoj koji je puno otporniji na lom materijala.

6 LITERATURA

[1] https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1432112778-0-cement_beton_2015.pdf (17.08.2015.)

[2] http://www.gradimo.hr/clanak/rezacice/25342 (19.08.2015.)

[3] http://internetprodaja.magnat-alati.rs/dijamantske_rezne_ploce_176988 (17.08.2015.)

[4] http://www.dar.hr/gradevinska-oprema/lissmac-strojevi-za-rezanje/rezne-ploce/ (19.08.2015.)

[5] https://shop.berner.eu/cdn32/h09/h30/9181823500318.pdf (21.08.2015.)

[6] http://www.bosch-pt.com/hr/hr/ac/pribor/usluge/novi-dijamantni-program/rjesavanje-problema.html (21.08.2015.)

[7] http://www.bosch-pt.com.hr/download/ACC_DIAMOND_CUTTING_HR-hr.pdf (19.08.2015.)

[8] K. Grilec, I. Ivušić; Tribologija; Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb; 2011.

[9] Glossary of terms and definitions in the field of friction, wear and lubrication -- tribology, OECD Publications, Paris 1969.

[10] H. Czichos, "Tribology - a system approach to the science and technology of friction, lubrication and wear", Elsevier, Amsterdam - Oxford - New York 1978.

[11] V. Ivušić, "Tribologija", Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2002.

[12] M. Novosel, F. Cajner, D. Krumes; Alatni materijali; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu; Slavonski Brod; 1996.

[13] Š. Šavar; Obrada odvajanjem čestica; Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb; 1978

[14] http://www.concretenetwork.com/products-saw-blade/buyers-guide.html (28.08.2015.)

[15] T. Filetin; Izbor materijala pri razvoju proizvoda; Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb ; 2000.

[16] G. Mršić, S. Žugaj; Analiza GSR čestica upotrebom elektronskog mikroskopa (SEM/EDX); stručni članak; Zagreb; 2007.

[17] http://www.leco.com/products/analytical-sciences/glow-discharge-atomic-emission-spectroscopy/gds850 (25.08.2015.)

[18] M. Stupniček, F. Cajner: Osnove toplinske obrade metala, Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb; 2001.

[20] https://bib.irb.hr/datoteka/274741.Doktorat_Bauer.pdf (09.09.2015.)

[21] T. Layman; Atlas of Microstructures of Industrial Alloys; American Society for Metals; Ohio; 1972.

[22] B. Kraut; Strojarski priručnik; Tehnička knjiga; Zagreb; 1987.